

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

10/523813

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
11. März 2004 (11.03.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/020962 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G01L 1/14

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/002648

(22) Internationales Anmeldedatum:  
5. August 2003 (05.08.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 36 051.0 6. August 2002 (06.08.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): EADS DEUTSCHLAND GMBH [DE/DE]; Willy-Messerschmitt-Strasse, 85521 Ottobrunn (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ZIMMERMANN,

Werner [DE/DE]; Tannenstrasse 14, 85640 Putzbrunn (DE). JÄNKER, Peter [DE/DE]; Hochackerstrasse 52 a, 85521 Riemerling (DE).

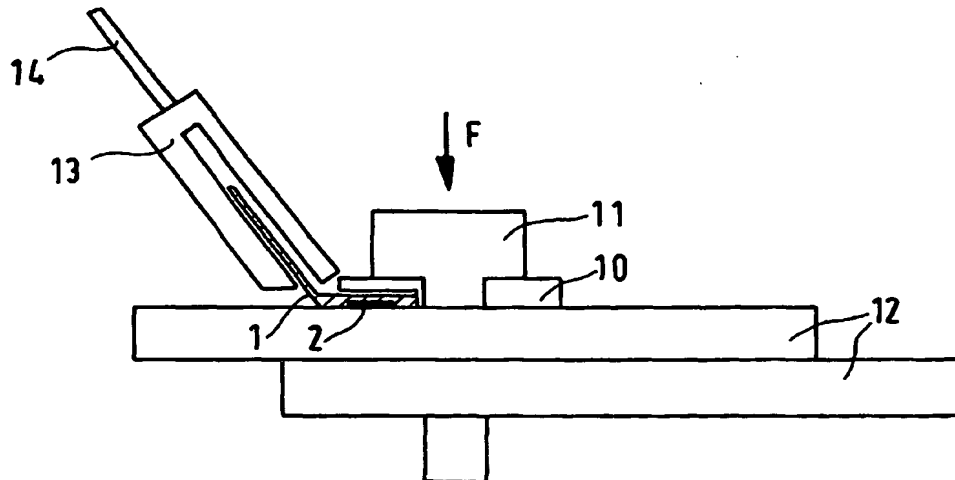
(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: STRESS/EXTENSION-MEASURING SENSOR AND METHOD FOR MEASURING STRESS/EXPANSION

(54) Bezeichnung: SPANNUNGS-/DEHNUNGSMESSENSOR SOWIE VERFAHREN ZUR SPANNUNGS-/DEHNUNGSMESSUNG



(57) Abstract: The invention relates to a stress/extension measuring sensor for continuously monitoring states of stress/extension, particularly in screwed bolts, and a corresponding method. The aim of the invention is to create an arrangement and a corresponding method which is/are easy and uncomplicated to use and allows states of stress/extension to be continuously monitored. Said aim is achieved by the inventive sensor (1) which is provided with a first inductor (3) and at least one additional element (2) comprising at least one pressure-dependent first impedance (5) or a second impedance (5') and a second inductor (3'). The second impedance (5') and/or the second inductor (3') are pressure-dependent such that the resonance frequency of an electromagnetic oscillating circuit which is formed by the impedance (5; 5') and inductor (3; 3') changes when the pressure, by means of which the element (2) is impinged upon, changes.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**(57) Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Spannungs-/Dehnungsmesssensor zur kontinuierlichen Überwachung von Spannungs-/Dehnungszuständen, insbesondere in geschraubten Bolzen, sowie ein entsprechendes Verfahren. Aufgabe ist hierbei, eine Anordnung sowie ein entsprechendes Verfahren zu schaffen, die bzw. das einfach und unkompliziert einsetzbar ist und eine kontinuierliche Überwachung von Spannungs-/Dehnungszuständen ermöglicht. Erfindungsgemäss wird dies dadurch gelöst, dass ein Sensor (1) vorgesehen ist, der eine erste Induktivität (3) und mindestens ein weiteres Element (2) aufweist, welches zumindest eine druckabhängige erste Impedanz (5) oder eine zweite Impedanz (5') und eine zweite Induktivität (3') umfasst, wobei die zweite Impedanz (5') und/oder die zweite Induktivität (3') druckabhängig sind, so dass bei Änderung der Druckbeaufschlagung des Elements (2) sich die Resonanzfrequenz eines durch Impedanz (5; 5') und Induktivität (3; 3') gebildeten elektromagnetischen Schwingkreises (3, 5; 3', 5') ändert.

## **Spannungs-/Dehnungsmesssensor sowie Verfahren zur Spannungs-/Dehnungsmessung**

5 Die vorliegende Erfindung betrifft einen Spannungs-/Dehnungsmesssensor zur kontinuierlichen Überwachung von Spannungs-/Dehnungszuständen, insbesondere in geschraubten Bolzen, sowie ein entsprechendes Verfahren. Die Erfindung findet u.a. bei Wartungsarbeiten Anwendung, um Spannungs-/Dehnungszustände zu kontrollieren, so dass beispielsweise Anzugsmomente von geschraubten Bolzen auf einfache Weise überwacht und eingestellt werden können.

10

Hinsichtlich dieses Anwendungsbereiches sind aus dem Stand der Technik sogenannte Drehmoment-Schlüssel bekannt, die beispielsweise mit Ultraschallsensoren arbeiten.

15

Daneben sind Dehnungssensoren bekannt, bei denen piezoelektrische Materialien zum Einsatz kommen. Hierbei wird der bekannte piezoelektrische Effekt ausgenutzt, so dass beim Einwirken einer Kraft auf das piezoelektrische Material durch elektrische Verschiebung Oberflächenladungen entstehen. Ein derartiger Sensor ist beispielsweise in WO 99/26046 beschrieben.

20

Problem hierbei ist jedoch, dass die auf Grund mechanischer Verformungsbeaufschlagung auftretende elektrische Ladungstrennung nur kurzfristig entsteht, so dass eine kontinuierliche Messung nicht möglich ist. Ferner ist in der Regel eine Ladungsverstärkung erforderlich, wie das in WO 99/26046 beschrieben ist, um die piezoelektrisch erzeugten Ladungen in eine dazu proportionale Spannung zu wandeln.

25

Somit liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zu Grunde, einen Spannungs-/Dehnungsmesssensor sowie ein entsprechendes Verfahren zu schaffen, der bzw. das einfach und unkompliziert einsetzbar ist und eine kontinuierliche Überwachung von Spannungs-/Dehnungszuständen ermöglicht.

5

Die Aufgabe wird durch einen Spannungs-/Dehnungsmesssensor gelöst, der dadurch gekennzeichnet ist, dass er eine erste Induktivität und mindestens ein weiteres Element aufweist, welches zumindest eine druckabhängige erste Impedanz oder eine zweite Impedanz und eine zweite Induktivität umfasst, wobei die zweite  
10 Impedanz und/oder die zweite Induktivität druckabhängig sind, so dass bei Änderung der Druckbeaufschlagung des Elements sich die Resonanzfrequenz eines durch Impedanz und Induktivität gebildeten elektromagnetischen Schwingkreises ändert.

15 Wesentlich hierbei ist, dass durch die Verwendung von druckabhängigen elektromagnetischen Bauelementen sowie deren Anordnung zu einem elektromagnetischen Schwingkreis, dessen Resonanzfrequenz für die Bestimmung von Dehnungs-/Spannungszuständen ausgenutzt wird. Prinzipiell können hierbei komplementäre Bauteile (Impedanz, Induktivität etc.) mit entsprechenden druckabhängigen  
20 Eigenschaften verwendet werden. Im Falle einer druckabhängigen Impedanz wäre dies z.B. eine Induktivität und umgekehrt.

Im Gegensatz zur direkten Messung von kurzfristig auftretenden Ladungstrennungen – wie das im Stand der Technik erfolgt – ist hier auf Grund der Messung variierender Resonanzfrequenzen eine kontinuierliche Messung möglich. Das Ausnutzen einfacher druckabhängiger, elektrischer Bauelemente stellt eine besonders  
25 einfache und effektive Messmethode dar und ermöglicht flexible Ausführungsformen. Die Erfindung weist somit vorteilhafterweise eine einfache Anordnung und Handhabbarkeit auf, was auch dadurch hervorgerufen wird, dass keine separate

Stromversorgung erforderlich ist. Zudem werden lediglich passive Bauteile verwendet.

5      Gemäß einer ersten Ausführungsform umfasst der Sensor eine erste Induktivität sowie ein weiteres Element, das zumindest eine druckabhängige erste Impedanz aufweist. Die druckabhängige erste Impedanz bildet mit der ersten Induktivität einen elektromagnetischen Schwingkreis, dessen Resonanzfrequenz sich bei Druckbeaufschlagung des Elements ändert. Selbstverständlich kann das Element weitere elektromagnetische Bauteile (Widerstände, Induktivitäten etc.) enthalten,  
10      was jedoch an dem hier zugrundeliegenden Prinzip nichts ändert.

Zweckmäßigerweise besteht bei der ersten Ausführungsform das Element ganz oder teilweise aus einem dielektrischen Material, dessen Permeabilität sich bei Druckbeaufschlagung ändert. Vorteilhafterweise lässt sich dieses Material auf  
15      Grund seines geringen Gewichtes und geringer Abmessungen gut in bestehende Anordnungen integrieren.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist das weitere Element des Sensors zumindest eine druckabhängige zweite Impedanz sowie eine zweite Induktivität auf, wobei die druckabhängige Impedanz und die zweite Induktivität parallel  
20      geschaltet sind und einen elektromagnetischen Schwingkreis bilden, so dass sich dessen Resonanzfrequenz bei ändernder Druckbeaufschlagung des Elements verschiebt.

25      Zweckmäßigerweise besteht hierbei das Element aus piezoelektrischem oder magnetostriktivem Material. Daneben können jegliche Werkstoffe verwendet werden, die eine last- bzw. druckabhängige elektromechanische Kopplung bewirken. Diese Materialien bzw. Werkstoffe lassen sich auf Grund ihres geringen Gewichtes und geringer Abmessungen gut in bestehende Anordnungen integrieren.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist der Sensor im Wesentlichen als Folie ausgebildet, auf der die erste Induktivität sowie Kontaktflächen zur Kontaktierung des weiteren Elements angeordnet sind. Eine derartige folienförmige Ausgestaltung weist sich wiederum durch geringes Gewicht sowie geringe Abmessungen vorteilhaft aus.

Dabei ist es insbesondere vorteilhaft, dass der folienförmige Sensor das weitere Element zumindest teilweise im Bereich der Kontaktflächen umgibt. Durch ein Biegen oder Falten des folienförmigen Sensors kann die Kontaktierung des weiteren Elements problemlos und auf vielfältige Weise erfolgen.

Ferner ist es vorteilhaft, dass der mit der ersten Induktivität versehene Abschnitt des folienförmigen Sensors über das weitere Element übersteht, was ein Ankoppeln von Mess- oder Prüfgeräten erleichtert.

Es ist besonderes vorteilhaft, dass die erste Induktivität sowohl als Ein- als auch als Auskoppелеlement dient, so dass die erste Induktivität einerseits zur Anregung des jeweiligen elektromagnetischen Schwingkreises und andererseits zur Messung der Resonanzfrequenz des jeweiligen elektromagnetischen Schwingkreises dient. Auf diese Weise ist eine berührungslose Kopplung sowohl bei Anregung des elektromagnetischen Schwingkreises als auch bei Abfrage des Spannungs-/Dehnungszustandes möglich. Der Sensor benötigt somit keine externen Zuleitungen.

Zur Abfrage des Spannungs-/Dehnungszustandes ist es zweckmäßig, einen Transceiver als Prüfgerät zu verwenden, der über die erste Induktivität an den Sensor ankoppelbar ist.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist das weitere Element in eine Unterlegscheibe integriert, die zwischen einem Befestigungsmittel und einer damit in Verbindung stehenden Struktur anbringbar ist. Auch bei dieser Ausführungsform ist es vorteilhaft, dass das weitere Element beispielsweise durch einen folienförmigen Abschnitt kontaktiert wird, und dass der mit der ersten Induktivität versehene Abschnitt des folienförmigen Sensors über die Unterlegscheibe übersteht, so dass ein Prüfgerät einfach ankoppelbar ist.

Gemäß einer alternativen Ausführungsform ist es zweckmäßig, ein zweites Element in die Unterlegscheibe als Komparatorelement zu integrieren. Dies hat den Vorteil, dass bei der Bestimmung von Spannungs-/Dehnungszuständen Temperatur- oder Alterungseffekte kompensiert werden können, da lediglich Änderungen der Resonanzfrequenz erfasst werden.

Die eingangs genannte Aufgabe wird ferner durch ein Verfahren zur Spannungs-/Dehnungsmessung gelöst, das sich erfindungsgemäß dadurch auszeichnet, dass zumindest ein Element eines Sensors mit einer ersten Induktivität, welches zumindest eine druckabhängige erste Impedanz oder eine zweite Impedanz und eine zweite Induktivität umfasst, wobei die zweite Impedanz und/oder die zweite Induktivität druckabhängig sind, derart zwischen einem Befestigungsmittel und einer mit dem Befestigungsmittel in Verbindung stehenden Struktur angeordnet wird, dass beim Ändern der Druckbeaufschlagung des Elements die Resonanzfrequenz eines durch Impedanz und Induktivität gebildeten elektromagnetischen Schwingkreises geändert wird.

Zweckmäßig ist hierbei, dass das Element bei Druckbeaufschlagung komprimiert und bei verminderter Druckbeaufschlagung entlastet wird, und dass der jeweilige elektromagnetische Schwingkreis über die erste Induktivität angeregt wird.

Ferner ist es vorteilhaft, dass die Messung der Resonanzfrequenz des elektromagnetischen Schwingkreises über eine berührungslose Ankopplung an die erste Induktivität erfolgt.

- 5    Gemäß einer alternativen Ausführungsform ist es zweckmäßig, mit Hilfe eines zweiten Elements eine Komparatormessung zur Kompensation von Temperatur- oder Alterungseffekten durchzuführen, da lediglich eine Änderung des Druck-/Spannungszustandes bzw. der Resonanzfrequenz erfasst wird.
- 10   Die Erfindung findet beispielsweise Anwendung zur Einstellung von Anzugsmomenten geschraubter Bolzen und ersetzt somit bekannte Drehmomentschlüssel. Die Erfindung kann z.B. für Wartungsarbeiten an Flugzeugen, Hubschraubern oder anderen Verkehrsmitteln eingesetzt werden.
- 15   Nachstehend wird die Erfindung anhand der beigefügten Abbildungen in näheren Einzelheiten beschrieben. In denen zeigt:

20    **Fig. 1** eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Sensors zur Bestimmung des Spannungs-/Dehnungszustandes eines geschraubten Bolzens;

**Fig. 2** eine Draufsicht auf einen folienförmig ausgebildeten Sensor;

**Fig. 3** eine Seitenansicht auf einen folienförmig ausgebildeten Sensor;

25    **Fig. 4, 4a-c** das elektrische Ersatzschaltbild des Sensors gemäß unterschiedlicher Ausführungsformen;



**Fig. 5** Darstellung der Resonanzfrequenz bei unterschiedlicher Druckbeaufschlagung; und

**Fig. 6** Resonanzfrequenz als Funktion der Druckbeaufschlagung.

5

Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung den erfindungsgemäßen Sensor zur Bestimmung des Spannungs-/Dehnungszustandes eines geschraubten Bolzens. Der Sensor ist in Fig. 1 mit Bezugsziffer 1 bezeichnet und ist in eine Unterlegscheibe 10 integriert. Die Unterlegscheibe 10 mit integriertem Sensor 1, nachstehend auch  
10 als modifizierte Unterlegscheibe bezeichnet, ist zwischen einem Bolzen 11 und einer mit diesem in Verbindung stehenden Struktur 12 angeordnet. Ferner ist ein Prüfgerät 13 (z.B. ein Transceiver) berührungslos an den Sensor 1 angekoppelt, was nachstehend noch in näheren Einzelheiten beschrieben wird. Über eine Datenleitung 14 werden die vom Transceiver erfassten Daten an eine Auswerteein-  
15 heit (nicht dargestellt) weitergeleitet.

Der Sensor 1 umfasst ein dielektrisches, piezoelektrisches oder magnetostriktives Element 2, das in Fig. 1 lediglich schematisch angedeutet ist. Prinzipiell sind Werkstoffe mit last- bzw. druckabhängiger elektromechanischer Kopplung ein-  
20 setzbar. In Fig. 1 ist das Element 2 derart in die Unterlegscheibe 10 integriert, dass seine Oberfläche im Wesentlichen senkrecht zur Druckbeaufschlagungsrichtung F angeordnet ist. Das Element 2 ist über einen folienförmigen Abschnitt des Sensors 1 kontaktiert, wie den Figuren 2 und 3 zu entnehmen ist.

25 Fig. 2 zeigt eine Draufsicht auf einen folienförmigen Sensor 1, bei der das Element 2 nicht zu sehen ist. Auf dem folienförmigen Sensor ist eine erste Induktivität 3 mäanderförmig aufgetragen und mit entsprechenden Kontaktflächen 4 und 7 verbunden. Die Kontaktflächen 4, 7 dienen zur Kontaktierung des Elements 2. Hierzu wird der folienförmige Sensor gemäß Fig. 2 an den gestrichelt dargestellten Falt-

bzw. Knickstellen umgebogen, um das Element 2, wie in Fig. 3 dargestellt, zu kontaktieren. Hierbei steht in der Regel der mit der ersten Induktivität 3 versehene Abschnitt des folienförmigen Sensors 1 über das Element 2 über, um ein Ankoppeln von Messgeräten (s. Fig. 1) zu erleichtern. Die in Fig. 3 dargestellte Sensoranordnung ist, wie eingangs beschrieben, in die Unterlegscheibe 10 integriert. Selbstverständlich kann die Sensoranordnung auch in andere Distanz- oder Zwischenstücke integriert sein.

Fig. 4 zeigt das elektrische Ersatzschaltbild des Sensors 1 in unterschiedlichen Ausführungsformen. Das elektrische Element sowie die erste Induktivität sind dabei mit den selben Bezugsziffern wie in den vorhergehenden Abbildungen bezeichnet. Zudem ist in Fig. 4 der Leitungswiderstand mit Bezugsziffer 6 bezeichnet. Selbstverständlich können weiter elektrische Bauelemente in dem Ersatzschaltbild berücksichtigt werden, die jedoch keinen Einfluss auf das der Erfindung zugrundeliegende Prinzip haben.

Das elektrische Bauelement 2 kann unterschiedlich ausgestaltet sein. Gemäß einer ersten Ausführungsform (Fig. 4a) weist das Element 2 einen Kondensator mit druckabhängiger Impedanz auf und wird nachstehend mit Bezugsziffer 5 bezeichnet. Dies wird beispielsweise durch ein dielektrisches Element bewirkt, dessen Permeabilität sich bei Druckbeaufschlagung ändert. Die druckabhängige Impedanz 5 bildet zusammen mit der ersten Induktivität 3 einen elektromagnetischen LC-Schwingkreis, dessen Resonanzfrequenz sich bei Druckbeaufschlagung ändert.

Gemäß einer zweiten Ausführungsform (Fig. 4b) umfasst das Element 2 selbst zumindest eine Impedanz sowie eine dazu parallel geschaltete Induktivität, die in Fig. 4b analog mit Bezugsziffern 5' bzw. 3' bezeichnet sind. Praktisch wird dies z.B. durch die Verwendung von piezoelektrischen und / oder magnetostriktiven

Elementen 2 realisiert. Bei dieser Ausführungsform wird der elektromagnetische Schwingkreis, dessen Resonanzfrequenz sich bei Druckbeaufschlagung ändert, durch die Impedanz 5' und die Induktivität 3' gebildet. Dabei kann die Impedanz 5' und / oder die Induktivität 3' druckabhängig sein. Selbstverständlich können auch  
5 bei dieser Ausführungsform weitere parallel oder in Serie geschaltete Bauelemente berücksichtigt werden, die keinen Einfluss auf das Wirkungsprinzip haben.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform (Fig. 4c) besteht das Element 2 aus einem piezoelektrischen Material. Bekanntlich weist ein piezoelektrisches Element auf Grund der eigenen Körperlichkeit eine mechanische Resonanz  
10 sowie eine Eigenkapazität auf, und kann durch das in Fig. 4c gezeigte Ersatzschaltbild dargestellt werden. Folglich wird hier, analog zur zweiten Ausführungsform gemäß Fig. 4b, der elektromagnetische LC-Schwingkreis durch die ebenso mit Bezugsziffer 5' und 3' bezeichnete Impedanz bzw. Induktivität gebildet, so  
15 dass durch die Druckabhängigkeit der Impedanz 5' eine Verschiebung der Resonanzfrequenz bei Druckbeaufschlagung des piezoelektrischen Elements 2 erfolgt. Das piezoelektrische Element 2 erfährt bei Druckbeaufschlagung eine Kompression, was eine entsprechende Ladungsverschiebung zur Folge hat („piezoelektrischer Effekt“) und bei materialgegebener Druckabhängigkeit der Permittivität somit  
20 zur Verschiebung der Resonanzfrequenz führt.

In den oben beschriebenen Ausführungsformen erfährt das Element 2 bei Druckbeaufschlagung eine Kompression und bei verminderter Druckbeaufschlagung eine entsprechende Entlastung. Dies führt wiederum, wie oben geschildert, zu einer messbaren Resonanzfrequenzverschiebung, so dass auf einfache Weise der  
25 Zustand „Bolzen gespannt“ oder „Bolzen ungespannt“ kontinuierlich überwacht werden kann.

Eine Druckbeaufschlagung des Elements 2 bewirkt also z.B. eine Verschiebung der Resonanzfrequenz zu höheren Frequenzen, wie das beispielsweise in Fig. 5 bzw. Fig. 6 dargestellt ist. Nimmt die Druckbeaufschlagung des Elements 2 wieder ab, so verschiebt sich die Resonanzfrequenz entsprechend zu niedrigeren Frequenzen. Selbstverständlich kann auch eine Anordnung gewählt werden, bei der dies umgekehrt ist.

Ferner ist anzumerken, dass die Anregung des jeweiligen elektromagnetischen Schwingkreises über die erste Induktivität 3 erfolgt, die somit als Einkoppelement dient. Dies kann berührungslos erfolgen (z.B. kapazitiv). Die erste Induktivität 3 dient jedoch gleichzeitig als Antenne bzw. Auskoppelement zur Messung der Resonanzfrequenz. Auch hier erfolgt die Messung vorzugsweise berührungslos.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform (nicht dargestellt) ist in der Unterlegscheibe 10 ein zweites Element (z.B. aus dielektrischem, piezoelektrischem oder magnetostriktivem Material) angeordnet, das für Vergleichsmessungen vorgesehen ist. Hierzu wird eine messtechnische Brücke aus einem mechanisch belasteten und einem mechanisch unbelasteten Element 2 aufgebaut, wodurch die relative Verschiebung der Resonanzfrequenz erfasst werden kann. Eine derartige Anordnung bzw. Vergleichsmessung ermöglicht beispielsweise eine Kompensation von Temperatur-, Alterungseffekten oder dergleichen.

Abschließend ist anzumerken, dass prinzipiell eine Reihe von unterschiedlichen Anordnungsmöglichkeiten elektromagnetischer Bauelemente zu entsprechenden elektromagnetischen Schwingkreisen denkbar ist, die eine nach dem voranstehenden Prinzip durchführbare Spannungs-/Dehnungsmessung ermöglichen. Die oben beschriebenen Ausführungsformen stellen lediglich beispielhafte Ausgestal-

tungen dar und sollen den Gegenstand der vorliegenden Erfindung nicht einschränken.

### Patentansprüche

- 5 1. Spannungs-/Dehnungsmesssensor zur kontinuierlichen Überwachung von Spannungs-/Dehnungszuständen, insbesondere in geschraubten Bolzen, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Sensor (1) eine erste Induktivität (3) und mindestens ein weiteres Element (2) aufweist, welches zumindest eine druckabhängige erste Impedanz (5) oder eine zweite Impedanz (5') und eine zweite Induktivität (3')
- 10 (3') umfasst, wobei die zweite Impedanz (5') und/oder die zweite Induktivität (3') druckabhängig sind, so dass bei Änderung der Druckbeaufschlagung des Elements (2) sich die Resonanzfrequenz eines durch Impedanz (5; 5') und Induktivität (3; 3') gebildeten elektromagnetischen Schwingkreises (3, 5; 3', 5') ändert.
- 15 2. Spannungs-/Dehnungsmesssensor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Element (2) zumindest die druckabhängige erste Impedanz (5) aufweist, und dass die erste Induktivität (3) und die erste Impedanz (5) den elektromagnetischen Schwingkreis (3, 5) bilden.
- 20 3. Spannungs-/Dehnungsmesssensor nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Element (2) ganz oder teilweise aus einem dielektrischen Material besteht.
- 25 4. Spannungs-/Dehnungsmesssensor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Element (2) zumindest die druckabhängige zweite Impedanz (5') und die zweite Induktivität (3') aufweist, wobei die druckabhängige zweite Impedanz (5') und die zweite Induktivität (3') parallel geschaltet sind und den elektromagnetischen Schwingkreis (3', 5') bilden, so dass sich dessen Resonanzfrequenz bei ändernder Druckbeaufschlagung des Elements (2) verschiebt.

5. Spannungs-/Dehnungsmesssensor nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Element (2) ein piezoelektrisches oder magnetostriktives Element ist.

5

6. Spannungs-/Dehnungsmesssensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Sensor (1) im Wesentlichen als Folie ausgebildet ist, auf der die erste Induktivität (3) und Kontaktflächen (4, 7) zur Kontaktierung des Elements (2) angeordnet sind.

10

7. Spannungs-/Dehnungsmesssensor nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der folienförmige Sensor (1) das Element (2) zumindest teilweise im Bereich der Kontaktflächen (4, 7) umgibt.

15 8. Spannungs-/Dehnungsmesssensor nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mit der ersten Induktivität (3) versehene Abschnitt des folienförmigen Sensors (1) über das Element (2) übersteht.

9. Spannungs-/Dehnungsmesssensor nach einem der vorangegangenen  
20 Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Induktivität (3) sowohl als Ein- als auch als Auskoppellement dient.

10. Spannungs-/Dehnungsmesssensor nach einem der vorangegangenen  
Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Prüfgerät (14) zur Abfrage des  
25 Spannung- / Dehnungszustandes berührungslos an den Sensor (1) über die erste Induktivität (3) ankoppelbar ist.

11. Spannungs-/Dehnungsmesssensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Element (2) in eine Unterlegscheibe (10) integriert ist.

5 12. Spannungs-/Dehnungsmesssensor nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** für Vergleichsmessung zur Kompensation von Temperatur- und Alterungseffekten ein zweites Element in der Unterlegscheibe (10) angeordnet ist.

10 13. Spannungs-/Dehnungsmesssensor nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Unterlegscheibe (10) zwischen einem Befestigungsmittel (11) und einer damit in Verbindung stehenden Struktur (12) anbringbar ist.

14. Verfahren zur Spannungs- /Dehnungsmessung, insbesondere in geschraubten Bolzen, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Element (2) eines  
15 Sensors (1) mit erster Induktivität (3), welches zumindest eine druckabhängige erste Impedanz (5) oder eine zweite Impedanz (5') und eine zweite Induktivität (3') umfasst, wobei die zweite Impedanz (5') und/oder die zweite Induktivität (3') druckabhängig sind, derart zwischen einem Befestigungsmittel (11) und einer mit dem Befestigungsmittel in Verbindung stehenden Struktur (12) angeordnet wird,  
20 dass beim Ändern der Druckbeaufschlagung des Elements (2) die Resonanzfrequenz eines durch Impedanz (5; 5') und Induktivität (3; 3') gebildeten elektromagnetischen Schwingkreises (3, 5; 3', 5') geändert wird.

15. Verfahren zur Spannungs- /Dehnungsmessung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Element (2) bei Druckbeaufschlagung komprimiert  
25 und bei verminderter Druckbeaufschlagung entlastet wird.



16. Verfahren zur Spannungs- /Dehnungsmessung nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** der elektromagnetische Schwingkreis (3, 5; 3', 5') über die erste Induktivität (3) angeregt wird.

5 17. Verfahren zur Spannungs- /Dehnungsmessung nach Anspruch 14, 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Messung der Resonanzfrequenz des elektromagnetischen Schwingkreises (3, 5; 3', 5') über eine berührungslose Ankopplung an die erste Induktivität (3) erfolgt.

10 18. Verfahren zur Spannungs- /Dehnungsmessung nach einem der Ansprüche 14 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Komparatormessung mit Hilfe eines zweiten Elementes erfolgt, so dass Verschiebungen der Resonanzfrequenz erfasst werden.

FIG. 1

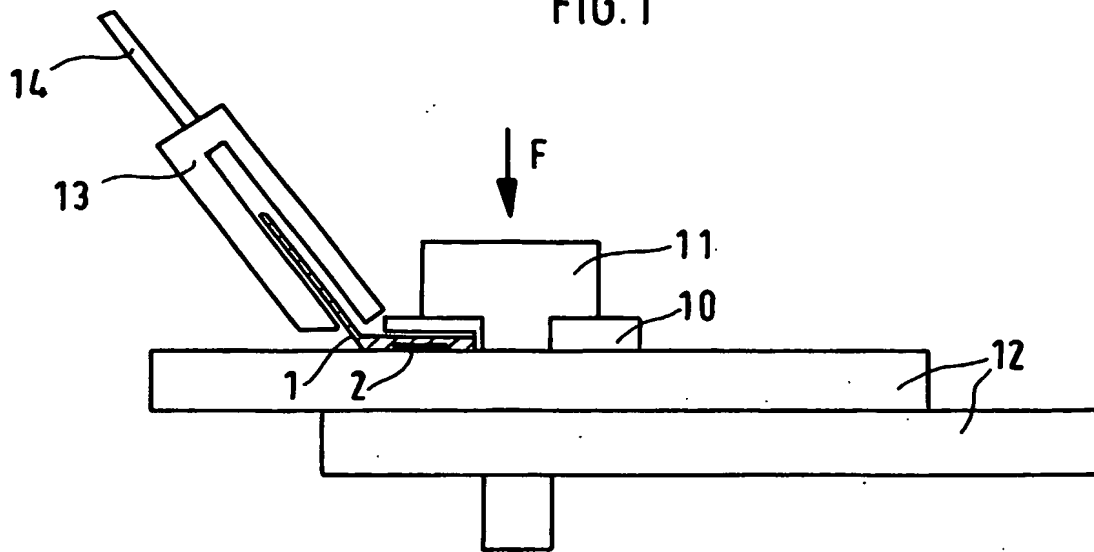


FIG. 2

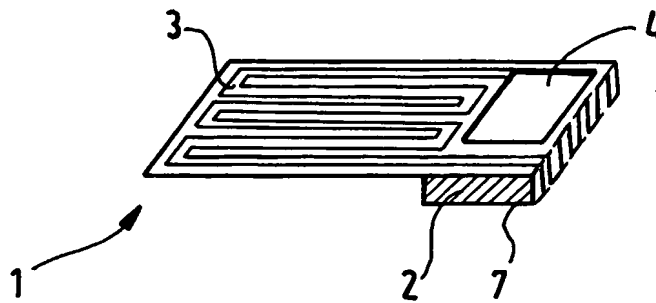
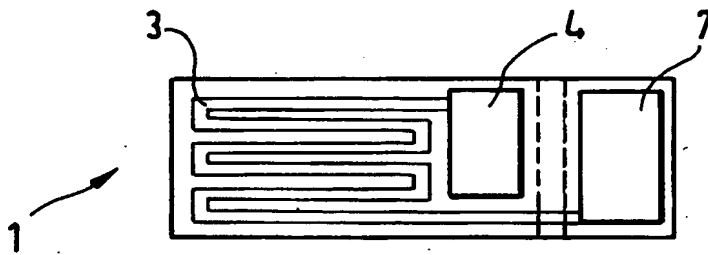


FIG. 3

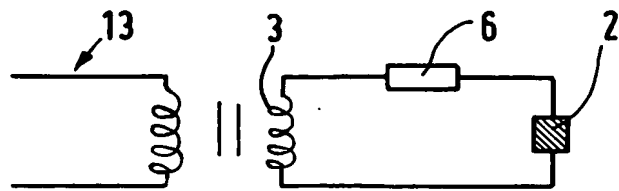


FIG. 4

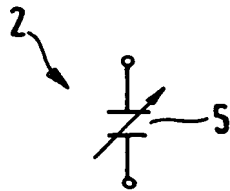


FIG. 4a

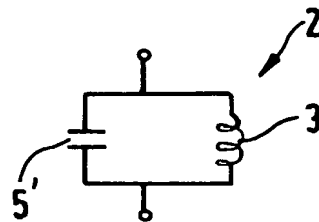


FIG. 4b

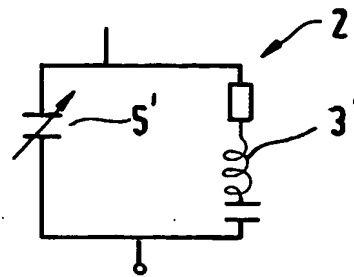


FIG. 4c

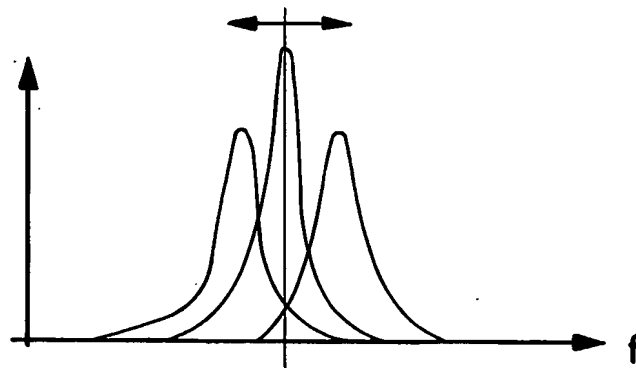


FIG. 5

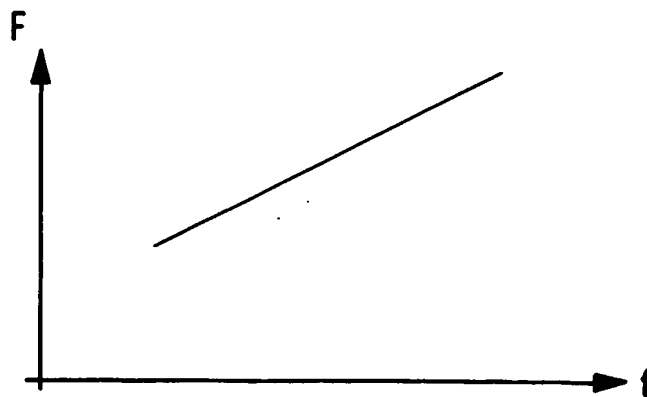


FIG. 6

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/DE 2648

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01L1/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 114 428 A (POPENOE CHARLES H) 19 September 1978 (1978-09-19)	1-3,6-10
Y	column 1, line 30 -column 2, line 18  column 3, line 11 -column 6, line 43 ---	5,11, 13-18
Y	DE 198 54 062 C (JUNKERS HOLGER) 16 November 2000 (2000-11-16) column 2, line 11-61 ---	11,13-18
Y	EP 0 766 077 A (ELECTRICITE DE FRANCE) 2 April 1997 (1997-04-02) column 2, line 45 -column 3, line 4 ---	11,13-18
A	US 5 392 654 A (BOYLE ALAN) 28 February 1995 (1995-02-28) column 3, line 3 -column 4, line 4 ---	4,12, 14-18
	--- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 December 2003

Date of mailing of the international search report

30/12/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Neumann, F

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 02648

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 772 034 A (DOORNES TRANSMISSIE BV) 7 May 1997 (1997-05-07) column 3, line 48 -column 5, line 14 -----	1-18
Y	US 3 614 677 A (WILFINGER RAYMOND J) 19 October 1971 (1971-10-19) column 1, line 3-55 column 2, line 49 -column 3, line 3 column 3, line 69 -column 4, line 9 -----	5

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 02648

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4114428	A	19-09-1978	CA 1092847 A1 DE 2727173 A1 FR 2365785 A1 GB 1559631 A JP 53042058 A US RE30183 E	06-01-1981 30-03-1978 21-04-1978 23-01-1980 17-04-1978 08-01-1980
DE 19854062	C	16-11-2000	DE 19854062 C1	16-11-2000
EP 0766077	A	02-04-1997	FR 2739447 A1 EP 0766077 A1	04-04-1997 02-04-1997
US 5392654	A	28-02-1995	AU 664186 B2 CA 2108088 A1 AU 2139092 A	09-11-1995 09-04-1995 04-03-1993
EP 0772034	A	07-05-1997	NL 1001524 C2 DE 69618427 D1 EP 0772034 A1 JP 9229791 A US 5898298 A	02-05-1997 14-02-2002 07-05-1997 05-09-1997 27-04-1999
US 3614677	A	19-10-1971	DE 1572996 A1 FR 1516424 A GB 1173374 A	21-05-1970 19-06-1968 10-12-1969

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 02648

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 G01L1/14

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
IPK 7 G01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 114 428 A (POPENOE CHARLES H) 19. September 1978 (1978-09-19)	1-3, 6-10
Y	Spalte 1, Zeile 30 -Spalte 2, Zeile 18  Spalte 3, Zeile 11 -Spalte 6, Zeile 43 ---	5, 11, 13-18
Y	DE 198 54 062 C (JUNKERS HOLGER) 16. November 2000 (2000-11-16) Spalte 2, Zeile 11-61 ---	11, 13-18
Y	EP 0 766 077 A (ELECTRICITE DE FRANCE) 2. April 1997 (1997-04-02) Spalte 2, Zeile 45 -Spalte 3, Zeile 4 ---	11, 13-18
A	US 5 392 654 A (BOYLE ALAN) 28. Februar 1995 (1995-02-28) Spalte 3, Zeile 3 -Spalte 4, Zeile 4 ---	4, 12, 14-18
	--- -/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

17. Dezember 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

30/12/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Neumann, F

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 772 034 A (DOORNES TRANSMISSIE BV) 7. Mai 1997 (1997-05-07) Spalte 3, Zeile 48 -Spalte 5, Zeile 14 ---	1-18
Y	US 3 614 677 A (WILFINGER RAYMOND J) 19. Oktober 1971 (1971-10-19) Spalte 1, Zeile 3-55 Spalte 2, Zeile 49 -Spalte 3, Zeile 3 Spalte 3, Zeile 69 -Spalte 4, Zeile 9 -----	5



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationaler Aktenzeichen

PCT/DE 02648

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 4114428	A	19-09-1978	CA	1092847 A1	06-01-1981
			DE	2727173 A1	30-03-1978
			FR	2365785 A1	21-04-1978
			GB	1559631 A	23-01-1980
			JP	53042058 A	17-04-1978
			US	RE30183 E	08-01-1980
DE 19854062	C	16-11-2000	DE	19854062 C1	16-11-2000
EP 0766077	A	02-04-1997	FR	2739447 A1	04-04-1997
			EP	0766077 A1	02-04-1997
US 5392654	A	28-02-1995	AU	664186 B2	09-11-1995
			CA	2108088 A1	09-04-1995
			AU	2139092 A	04-03-1993
EP 0772034	A	07-05-1997	NL	1001524 C2	02-05-1997
			DE	69618427 D1	14-02-2002
			EP	0772034 A1	07-05-1997
			JP	9229791 A	05-09-1997
			US	5898298 A	27-04-1999
US 3614677	A	19-10-1971	DE	1572996 A1	21-05-1970
			FR	1516424 A	19-06-1968
			GB	1173374 A	10-12-1969